

## Correlation between energy loss and charge exchange of silicon ions in carbon foils

著者	Yamaguchi Hidenori
内容記述	Thesis--University of Tsukuba, D.Sc. (A), no. 179, 1983. 3. 25
発行年	1983
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2241/4728">http://hdl.handle.net/2241/4728</a>

氏 名 (本 籍) <sup>やま</sup>山 <sup>ぐち</sup>口 <sup>ひで</sup>秀 <sup>のり</sup>則 (神奈川県)

学 位 の 種 類 理 学 博 士

学 位 記 番 号 博 甲 第 179 号

学 位 授 与 年 月 日 昭和58年 3 月 25 日

学 位 授 与 の 要 件 学位規則第 5 条第 1 項該当

審 査 研 究 科 物理学研究科 物理学専攻

学 位 論 文 題 目 **Correlation between Energy Loss and Charge Exchange of Silicon Ions in Carbon Foils**  
(Siイオンの炭素薄膜中に於けるエネルギー損失と荷電変換の相関)

主 査 筑波大学教授 理学博士 三 雲 昂

副 査 筑波大学教授 理学博士 真 田 順 平

副 査 筑波大学教授 理学博士 中 村 正 年

副 査 筑波大学教授 理学博士 山 内 幹 雄

## 論 文 の 要 旨

荷電粒子の物質通過中のエネルギー損失は両者の相互作用を研究する基本的な問題として古くから研究されて来た。一方荷電粒子イオンビームが標的物質中を通過する際に、イオンと標的原子の間に起こる電子の授受も同様に重要な基本的相互作用である。しかし大部分の研究は軽いイオンの物質通過中のエネルギー損失と荷電変換についてなされて来た。最近加速器、特にタンデム型静電加速器の進歩により、多荷の高速重イオンが得られるようになった。高速重イオンの物質通過の際には、標的原子の励起だけでなく、イオン自身の励起もエネルギー損失に寄与することが示唆されているが、それぞれの役割を解明するような実験は行われておらず、理論も極めて不完全である。エネルギー損失と荷電変換の相関を詳しくしらべるには、荷電分布が平衡に達した厚い標的に関するデータのみでは不十分で、分布がまだ非平衡の領域での測定を行い、入射及び出射イオンの荷数とエネルギー損失の情報を同時に得ることが不可欠である。

著者は筑波大学加速器センターにおいて、著者らが製作したスパッター型負イオン源でSiイオンを発生し、ペレトロン型タンデム加速器で95 MeVに加速した9価から14価のSiイオンを3.4~190  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ の広範囲の厚さをもつ炭素薄膜を通過させた。それぞれの荷電の入射イオンに対して、出射イオンを高分解能分析電磁石を用いて、エネルギー損失と荷電(9価~14価)分布を電磁石の焦点面においた6個のSi半導体位置検出器を用いて測定した。

この実験における著者の最大の努力は、加速器のビームライン上にスリットを工夫し、エネルギーの拡がりか 95 MeV のビームに対して  $\pm 10$  keV、ビーム半径が 0.8 mm 以下、ビーム強度が毎秒数百カウントという極端に弱いビームをつくることから始められ、これにより従来の類似の測定よりはるかによい精度を得てこの研究を成功させた。エネルギー損失の測定には、上記の方法と独立に、分析電磁石の外縁磁場の影響をなくすために、焦点面上一定の位置においた 1 個の Si 半導体検出器を用いても測定を行い、6 個の位置検出器の結果との比較を行った。さらに Si と C との衝突における X 線放出断面積を Si (Li) 検出器により放出 X 線を測定することにより求めた。

著者の実験の結果第一に、Si イオンの C 薄膜中におけるエネルギー損失 (阻止能,  $\Delta E/\Delta X$ ) は、軽イオンに対してよく知られている Bethe の式などから予想される  $Q^2$  依存則 ( $Q$  は Si イオンの電荷) に従わず、荷電の変化  $\Delta Q$  に依存するという事実が明らかになった。しかも荷電変換のない場合 ( $\Delta Q = 0$ ) にくらべて、電子損失 ( $\Delta Q > 0$ ) の際は  $\Delta E/\Delta X$  が大きく、電子捕獲 ( $\Delta Q < 0$ ) の際は  $\Delta E/\Delta X$  が小さい。さらに  $\Delta E/\Delta X$  は標的の厚さにも依存し、荷電分布が平衡に達するような厚さに達すると、始めて入射イオンの電荷に無関係に一定値をもつ。すなわち荷電分布が非平衡の薄い標的の領域では、阻止能もまた非平衡であることを著者は始めて示した。

第二に、荷電変換の断面積は標的の厚さに関係し、全体としては厚さと共に減少し、特に電子捕獲断面積が厚さと共に減少することが示された。

第三に Si イオンの X 線放出断面積も入射イオンの荷数と標的の厚さと共に変化することが分った。

著者は、一定の厚さの標的に対して、単位厚さの異なる薄膜の積み重ねのモデルをたて、これにより著者の実験結果を解析した。その結果、平均平衡電荷および平衡に達するのに必要な厚さは、単位薄膜の厚さが薄い程減少することが分った。

## 審 査 の 要 旨

重イオンの固体薄膜通過の際に、これまでの軽イオンの場合にくらべて、はるかに複雑な現象が起ることが予想されていたが、荷電変換とエネルギー損失の相関に関する研究は皆無であった。

著者は筑波大学の加速器から得られるすぐれたビームの特徴を生かし、さらに極微弱強度のビームの生成と、精度の高い測定法の樹立をもとにこの研究を遂行した。

著者は荷電交換断面積が、薄膜の厚さの関数として変化することを初めて明白にし、異なる厚さの積み重ねのモデルから、この厚さ依存性を、イオンのガス中の通過とは異なる、固体特有の密度効果として理解できることを示した。

特にエネルギー損失が単純な  $Q^2$  依存性に従わず、荷電変化  $\Delta Q$  に依存し、 $\Delta Q > 0$ 、 $\Delta Q < 0$  に従って  $\Delta Q = 0$  の場合に比較して、阻止能  $\Delta E/\Delta X$  がそれぞれ大または小になることを示した。この事実はイオンの固体中の通過において、イオンの励起及び電離のほかに電子捕獲の過程も重要な役割を演じ、荷電交換とエネルギー損失が密接な関連をもつことを世界に先がけて実証したものとして高

く評価される。

よって、著者は理学博士の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。